

高性能透射式 GaAs 光电阴极量子效率拟合 与结构研究*

赵静¹⁾ 张益军¹⁾ 常本康^{1)†} 熊雅娟¹⁾ 张俊举¹⁾ 石峰²⁾ 程宏昌²⁾ 崔东旭³⁾

1) (南京理工大学电子工程与光电技术学院, 南京 210094)

2) (微光夜视技术国防科技重点实验室, 西安 710065)

3) (西安应用光学研究所, 西安 710065)

(2010年11月5日收到; 2011年1月11日收到修改稿)

为了探索高性能透射式 GaAs 光电阴极的特征结构, 对光电阴极量子效率公式进行了光谱反射率与短波截止限的修正, 并利用修正后的公式对 ITT 透射式 GaAs 光电阴极量子效率 ($\approx 43\%$) 曲线进行了拟合, 得到拟合相对误差小于 5% 时的结构参数为: 窗口层 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 的厚度介于 $0.3\text{--}0.5\ \mu\text{m}$, Al 组分 x 值为 0.7, 发射层 GaAs 的厚度介于 $1.1\text{--}1.4\ \mu\text{m}$. 另外, 根据拟合结果讨论了均匀掺杂透射式 GaAs 光电阴极的优化结构参数, 如果光电阴极具有 $0.4\ \mu\text{m}$ 厚的 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ ($x=0.7$) 窗口层和 $1.1\text{--}1.5\ \mu\text{m}$ 厚的 GaAs 发射层, 则积分灵敏度可以达到 $2350\ \mu\text{A}/\text{lm}$ 以上.

关键词: 透射式 GaAs 光电阴极, 量子效率, 积分灵敏度, 光学性能

PACS: 78.40.Fy, 79.60.Dp, 78.66.Fd

1. 引言

透射式 GaAs 光电阴极量子效率高、长波响应好、工作模式符合日常使用习惯, 在微光像增强器、半导体敏感器件、自旋电子学等众多领域获得了广泛应用^[1-3]. 这类光电阴极的发展也经历了比较曲折的过程, 1975 年, 美国 Varian 公司首先利用“反转结构”制备了透射式负电子亲和势 (NEA) 光电阴极, 并将其黏贴在玻璃衬底上^[4,5]. 此后, 随着金属有机化学气相淀积 (MOCVD) 外延技术的发展, “反转结构”得到了进一步完善和提高^[6]. 国内外众多研究机构从阴极掺杂结构、激活机理、制备工艺等方面展开了对 GaAs 光电阴极光电发射性能的研究^[7], 其中美国 ITT 公司的成果最为突出. 2002 年, 该公司研制并生产的透射式 GaAs 光电阴极的电子扩散长度达 $3\text{--}7\ \mu\text{m}$, 积分灵敏度在 $1500\ \mu\text{A}/\text{lm}$ 以上, 平均可达 $1800\ \mu\text{A}/\text{lm}$, 场助作用下灵敏度高的已达 $3200\ \mu\text{A}/\text{lm}$ ^[8].

目前对 GaAs 光电阴极的研究都是从已知结构中测试并分析阴极性能, 而较少研究已知的高性能光电阴极实验曲线来反推结构参数, 指导光电阴极设计. 对 GaAs 光电阴极而言, 量子效率公式中含有表征阴极各性能的参量^[9], 如电子逸出概率、电子扩散长度、吸收系数和阴极厚度, 通过对实验曲线的拟合可以得到这些参量信息, 从而能够评估阴极性能和设计阴极结构. 本文对透射式光电阴极量子效率公式进行修正后, 拟合了一条 ITT 公司已报道的高性能透射式 GaAs 光电阴极的量子效率 ($\approx 43\%$) 曲线, 探索了该光电阴极结构参数范围, 据此分析并设计了高性能透射式 GaAs 光电阴极应具有的结构参数.

2. 理论计算

透射式 GaAs 光电阴极可以看成是由玻璃基底、 Si_3N_4 增透层、 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 窗口层、GaAs 发射层组成的四层膜系结构, 如图 1 所示.

* 国家自然科学基金 (批准号: 60678043)、江苏省普通高校研究生科研创新计划 (批准号: CX09B_096Z) 和南京理工大学自主科研专项计划 (批准号: 2010ZYTS032) 资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: bkchang@mail.njust.edu.cn

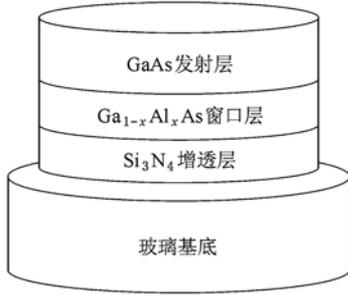


图1 透射式 GaAs 光电阴极结构

2.1. 光学性能

在图1的玻璃/Si₃N₄/Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs 光电阴极结构中,除玻璃外的其他三层膜厚度都比较小,是 μm 量级,可以当作薄膜处理,而玻璃层是 mm 量级的窗口材料,另作考虑. 根据透射式光电阴极的工作模式,入射光从玻璃一侧进入阴极,由发射层出射,可以将玻璃看作入射介质,光子依次经过后续三个薄膜层再进入空气,这样空气是出射介质,当作膜系的基底. 在此结构中,根据薄膜光学多层膜的矩阵公式^[10],表征 GaAs 光电阴极光学性能的反射率、透射率与吸收率可按下式计算:

$$Y_T(h\nu) = \frac{P \cdot (1 - R) \cdot \alpha_{hv} L_D}{\alpha_{hv}^2 L_D^2 - 1} \times \left\{ \frac{\alpha_{hv} D_n + S_v}{(D_n/L_D) \cdot \cosh(T_e/L_D) + S_v \cdot \sinh(T_e/L_D)} - \frac{\exp(-\alpha_{hv} T_e) \cdot [S_v \cdot \cosh(T_e/L_D) + (D_n/L_D) \cdot \sinh(T_e/L_D)]}{(D_n/L_D) \cdot \cosh(T_e/L_D) + S_v \cdot \sinh(T_e/L_D)} - \alpha_{hv} L_D \cdot \exp(-\alpha_{hv} T_e) \right\}, \quad (5)$$

式中 P 是电子逸出概率, R 是光电阴极的反射率, S_v 是后界面复合速率, L_D 是阴极材料电子扩散长度, D_n 是电子扩散系数, T_e 是阴极发射层的厚度, α_{hv} 是 GaAs 材料的吸收系数. 后续计算中 R 不再是按常数处理,而是修正为波长的函数 R_{hv} , 由(1)式计算得到.

采用(5)式计算透射式光电阴极量子效率时,不能很好地解决短波截止的问题,计算时短波部分的处理通常是采取单独拟合的方式. 考虑到光电阴极结构中 Ga_{1-x}Al_xAs 窗口层对入射光子的截止影响,可以对(5)式进行 Ga_{1-x}Al_xAs 层的吸收修正,在此式的基础上乘以一个 K 系数,

$$K = \exp(-\beta_{hv} T_w), \quad (6)$$

式中 T_w 是窗口层的厚度, β_{hv} 是 Ga_{1-x}Al_xAs 材料的

$$R_{hv} = \left(\frac{n_g B - C}{n_g B + C} \right) \cdot \left(\frac{n_g B - C}{n_g B + C} \right)^*, \quad (1)$$

$$T_{hv} = \frac{4n_g n_0}{(n_g B + C) \cdot (n_g B + C)^*}, \quad (2)$$

$$A_{hv} = 1 - R_{hv} - T_{hv}, \quad (3)$$

式中 n_g 是入射介质玻璃的折射率, n_0 是基底空气的折射率. B, C 由下面的矩阵计算得到

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \left(\prod_{j=1}^3 \begin{bmatrix} \cos \delta_j & i \cdot \sin \delta_j / \eta_j \\ i \cdot \eta_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ n_0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式中每个 2×2 的特征矩阵代表一个薄膜层,矩阵中的各参数包含了对应层的光学信息,最后一项 2×1 的矩阵代表基底介质. 特征矩阵中 $\delta_j = 2\pi \eta_j d_j \cos \theta_j / \lambda$ 表示相邻膜层间的光程差. 这里光学常数 $\eta_j = n_j - ik_j$ 表示膜层复折射率,其中 n_j, k_j 分别是第 j 层膜的折射率和消光系数,都为波长的函数; d_j 是对应膜层的几何厚度; θ_j 是对应的折射角,由折射定律 $\eta_j \sin \theta_j = \eta_{j+1} \sin \theta_{j+1}$ 得到,当 $j = 0$ 时表示光子进入膜系的入射角.

2.2. 量子效率

对均匀掺杂的透射式 GaAs 光电阴极,设定边界条件后求解扩散方程可以得到量子效率公式^[11]

吸收系数. 这个修正系数对指数掺杂情况同样适用^[12].

利用实验或计算获得的光谱响应曲线可以按下式计算 GaAs 光电阴极的积分灵敏度^[13]

$$S_i = \frac{I}{\Phi_v} = \frac{\int_0^\infty S(\lambda) W(\lambda) d\lambda}{683 \int_{380}^{780} V(\lambda) W(\lambda) d\lambda}, \quad (7)$$

式中 I 为阴极所发出的光电流, Φ_v 为标准光源的光通量, $S(\lambda)$ 是阴极的光谱响应, $W(\lambda)$ 表示标准入射光源的辐射光谱分布, $V(\lambda)$ 表示人眼的光谱光视效率(或称视见函数). 程序计算中,用离散值求和的方法代替积分,波长间隔的值取为 5 nm, $W(\lambda)$ 和 $V(\lambda)$ 的值分别取自文献[14]和[15]. $S(\lambda)$ 可

根据其修正后的 $Y_T(h\nu)$ 的相互关系计算得到,如下式:

$$Y_T(h\nu) = 1.24S(\lambda)/\lambda, \quad (8)$$

式中 $S(\lambda)$ 单位取 mA/W, λ 是入射光子的波长,以 nm 为单位.

3. 实验曲线及拟合结果

参考 ITT 公司已报道的高性能透射式 GaAs 光电阴极量子效率(≈43%)曲线^[8],如图 2 所示,测试范围 400—950 nm.

计算得到此曲线的一些光谱响应参数,如表 1 所示,其中积分灵敏度达到了 2330 $\mu\text{A}/\text{lm}$. 假定这是一个均匀掺杂的透射式 GaAs 光电阴极,其组件结构是如图 1 所示的四层膜系,通过拟合实验曲线

来探索该阴极的结构参数.

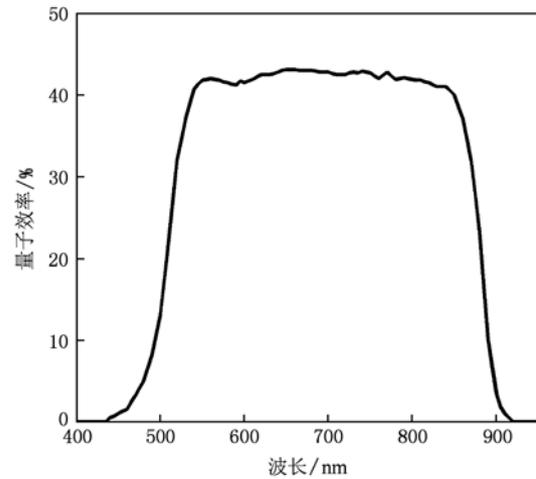


图 2 ITT 公司高性能透射式 GaAs 光电阴极的量子效率曲线^[9]

表 1 ITT 公司高性能透射式 GaAs 光电阴极量子效率曲线的计算结果

起始波长/nm	截止波长/nm	峰值响应/ $\text{mA}\cdot\text{W}^{-1}$	峰值位置/nm	积分灵敏度/ $\mu\text{A}\cdot\text{lm}^{-1}$
440	915	278	840	2330

从计算公式(5)中可以看出,影响量子效率曲线的参数有电子逸出概率、电子扩散长度、后界面复合速率、电子扩散系数、光电阴极组件的反射率、 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 材料中 Al 组分 x 值、发射层和窗口层的厚度与吸收系数. 对于一个给定的光电阴极, $P, L_D, S_v, D_n, R_{hv}, x, T_e, T_w, \alpha_{hv}$ 和 β_{hv} 不能同时精确测量,也不能从(1), (5)和(6)式中直接求解得到. 但可以通过给所有变量赋合适的初值,并在设定的变化范围内逐步变化来分步计算出各参数的取值范围^[16]. 为了计算简便,对于部分可以确定的参量设为定值. 根据实验和经验数据,计算时设 Si_3N_4 层的厚度

和折射率分别为 0.1 μm 和 2.06. GaAs, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 的光学常数取参考文献[17]中的离散值,并进行合适的插值处理,这里采用了立方插值方式. 设定完成后,在预设的变化范围内,计算每组待拟合参数取值所对应的量子效率,并由软件程序画出理论曲线,与实验光谱对比,当两者间的误差在一定范围内时就认为这组取值是合理的.

针对本文所述阴极结构,利用(5)式经修正后的结果公式对图 2 中的量子效率曲线进行拟合,控制相对误差小于 5%,得到拟合参数的结果范围如表 2 所示.

表 2 ITT 公司高性能透射式 GaAs 光电阴极量子效率曲线的拟合结果

发射层厚度/ μm	窗口层厚度/ μm	窗口层 Al 组分	表面逸出概率	电子扩散长度/ μm	后界面复合速率/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$
1.1—1.4	0.3—0.5	0.7	0.52	3.0—4.5	$\leq 10^5$

由于材料制备工艺水平较成熟,该阴极电子扩散长度大于 3 μm ,后界面复合速率不大于 10^5cm/s ,而 L_D 大于 3.5 μm , S_v 小于 10^4cm/s 时,这两个参数对量子效率曲线都几乎没有影响^[18]. 电子扩散系数与材料性质有关,对于 GaAs 光电阴极材料,取其值为 $120 \text{cm}^2/\text{s}$.

根据拟合结果范围,选择一组合适的参数计算:设 $T_e = 1.3 \mu\text{m}$, $T_w = 0.4 \mu\text{m}$, $L_D = 3.5 \mu\text{m}$, $S_v = 10^5 \text{cm/s}$,由此计算理论量子效率曲线,此时的相对

拟合误差最小,为 4.49%. 曲线拟合结果如图 3(a) 所示,可见无论是短波段还是长波段都得到了较一致的拟合. 利用(1)—(3)式计算此结构阴极的光学性能曲线,如图 3(b),从图中可见阴极反射率、透射率、吸收率都是随波长变化的光谱. 在 GaAs 的吸收区内($\lambda \leq 870 \text{nm}$)吸收率是比较高的,透射率很低,短波部分几乎为零. 长波部分的 GaAs 透明区内,吸收率为零,正好对应量子效率曲线上的长波截止区域.

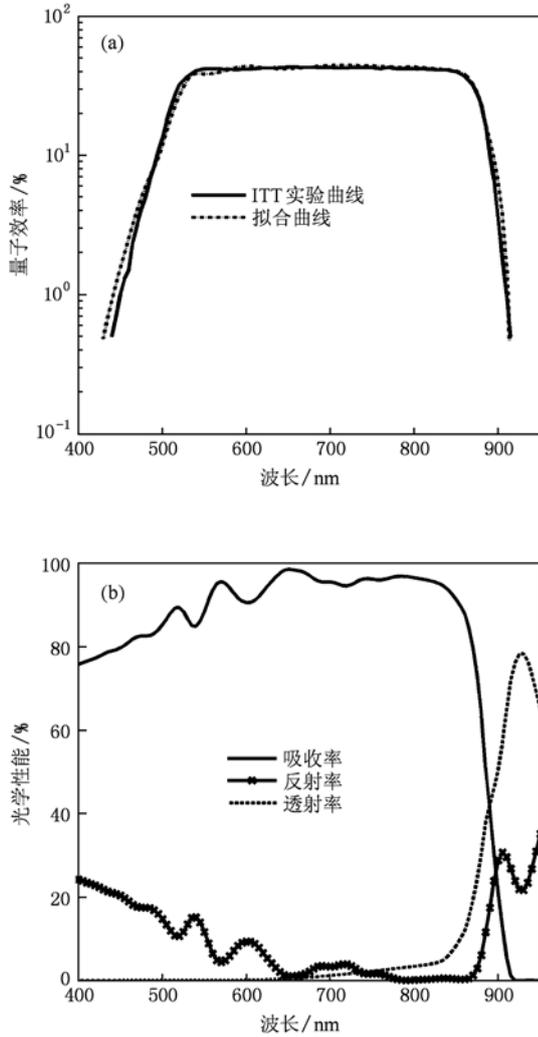


图3 ITT公司高性能透射式GaAs光电阴极量子效率曲线的光谱拟合与光学性能计算结果 (a)量子效率曲线拟合结果;(b)光学性能曲线计算结果

4. 讨 论

从(5)式中可以看到,量子效率受到众多因素的影响,其中后界面复合速率与材料的界面特性有关,电子扩散长度、电子迁移速率与材料本身性质有关,表面电子逸出概率与电子能量、表面势垒形状有关.从对ITT透射式GaAs光电阴极的量子效率曲线的拟合结果中可知, L_D, S_v, D_n 在拟合结果范围内对量子效率没有太大影响, P 仅是提高量子效率曲线的幅度.而由(1)和(6)式可知,阴极结构中的发射层和窗口层影响光电阴极的反射率、吸收率、短波衰减因子,从而影响修正的量子效率,通过对这两层厚度的分别仿真可以分析两者在吸收区域

内对吸收率和量子效率的不同影响.

仿真时部分参数需要预先设定,同样选择 Si_3N_4 层厚度 $0.1 \mu m$,折射率 $2.06, x = 0.7, P = 0.52, L_D = 3.5 \mu m, S_v = 10^5 \text{ cm/s}, D_n = 120 \text{ cm}^2/\text{s}$.分别设 T_w 或 T_e 为某一定值,改变另一个厚度参数进行计算分析.结果如图4所示,参考前面拟合结果,分别取了 $T_w = 0.4 \mu m$ 和 $T_e = 1.3 \mu m$.对比图4(a)和(b)可见,GaAs层主要影响长波段的阴极性能,而 $Ga_{1-x}Al_xAs$ 层主要影响短波段的阴极性能,这是由两者的不同禁带宽度决定的.

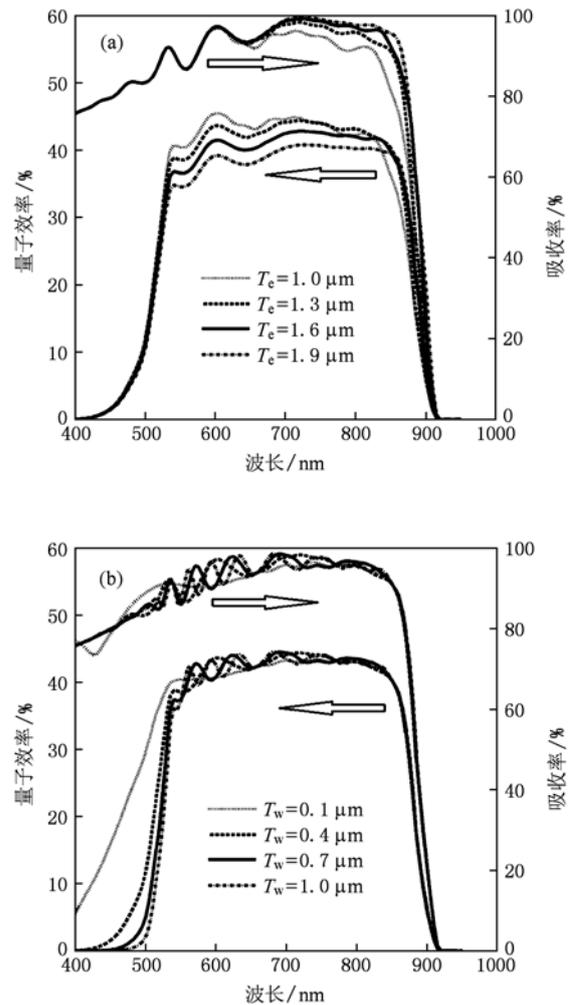


图4 透射式GaAs光电阴极结构参数对阴极吸收率和量子效率的影响 (a) T_e 对阴极性能曲线的影响($T_w = 0.4 \mu m$);(b) T_w 对阴极性能曲线的影响($T_e = 1.3 \mu m$)

从图4(a)的曲线中可见: T_w 一定时,随 T_e 的增大,吸收率短波段不变,长波段不断增大,因为发射层越厚吸收的光子越多;而量子效率曲线变化不同,短波段量子效率减小,长波段增大.这是由于吸

收的光子需要克服表面势垒,穿过阴极膜层发射出来,这样短波部分光子具有较高能量,在发射层较薄时能够发射出来,成为有效光电子发射.如果发射层较厚,被激发的光电子运动到达表面的长度大于电子扩散长度时,光子就不能激发电子成为有效发射,所以短波部分 T_e 小的量子效率反而更高.长波部分光子能量低,在一定厚度范围内(光电子运动自由程小于电子扩散长度),越厚的发射层吸收越多的光子,且这些光子都能激发光电子并输出到光电阴极表面,使得量子效率更高.但发射层厚度超过一定值时,吸收光子所激发的光电子不能输运到表面,量子效率反而下降了,这是透射式 GaAs 光电阴极结构决定的.不同结构 GaAs 光电阴极的发射层都存在一个最佳厚度值.

从图 4(b) 的曲线中可见: T_e 一定时,随 T_w 的增大,吸收率曲线上短波部分的峰谷位置变得更紧密,说明膜层干涉效应更明显,长波段没有明显变化.此外观察到吸收率和量子效率曲线上短波部分的峰谷变化是一致的.量子效率曲线上起始波长位置向长波移动,这样就减小了短波响应,而长波段无明显变化,这也说明了 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 层是影响短波截止限的主要因素.由于这一层的存在是为了协调上层 Si_3N_4 与下层 GaAs 的晶格失配问题,而且薄膜制备工艺也局限了膜层厚度不能无限小,所以实际制备中 T_w 应取一个折中的数值,不能按照理论结果直接去掉这一层,即取该层厚度为零.图 4(b) 也说明了减小 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 层厚度、提高 Al 组分是获得蓝延伸 GaAs 光电阴极的一个有效途径.

定量计算 T_w 和 T_e 分别变化时 GaAs 光电阴极的光谱响应与积分灵敏度变化情况,结果同样表明 T_w 一定时,随 T_e 的增大积分灵敏度先增大后减小^[19].在上述设定条件下,对应最大积分灵敏度的 T_e 值是 $1.2 \mu\text{m}$;而 T_e 一定时,随 T_w 的增大积分灵敏度一直在减小.所以 GaAs 层取 $1.2 \mu\text{m}$ 且 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 层尽可能薄的光电阴极峰值光谱响应最高,积分灵敏度也是最大,此时阴极结构是最优的.但正如上文所述,膜层不能无限薄,根据本文拟合结果,取 T_w 为 $0.4 \mu\text{m}$.

由于阴极取不同结构参数时部分积分灵敏度的变化比较小,在一定范围内不影响阴极性能.这样在不改变 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 层厚度的前提下,GaAs 层的厚度可以有一个变化范围,在此结构范围内的阴极都能具有好的性能.在上述设定下来探讨优化结

构的 GaAs 层厚度变化范围,计算 T_w 为 $0.4 \mu\text{m}$ 时, T_e 在 $0.8\text{--}2.2 \mu\text{m}$ 间以步长 $0.1 \mu\text{m}$ 逐渐增加时的积分灵敏度,结果如图 5 所示.

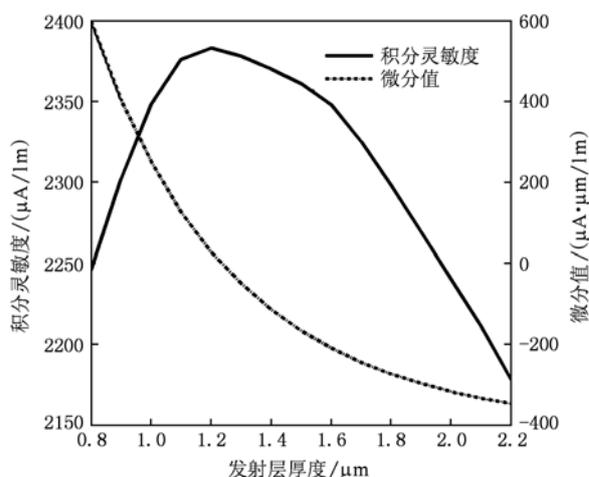


图 5 积分灵敏度及其对阴极厚度的微分曲线

另外计算了积分灵敏度对 T_e 的一阶微分曲线.根据微积分理论,一阶微分为零时函数取极值,故从图 5 中可以看出积分灵敏度关于阴极厚度的函数极值点在 $1.2 \mu\text{m}$ 附近.同时得到在上述设定条件下,积分灵敏度达到 $2350 \mu\text{A/lm}$ 以上的光电阴极发射层厚度范围是 $1.1\text{--}1.5 \mu\text{m}$,这与前文的拟合结果是一致的.

根据上述结果,实验设计了均匀掺杂样品进行对比研究.样品的 GaAs 层厚度为 $1.2 \mu\text{m}$,利用光谱响应测试仪测试得到了实验量子效率曲线,如图 6 所示,并进行拟合验证,计算得到该样品积分灵敏

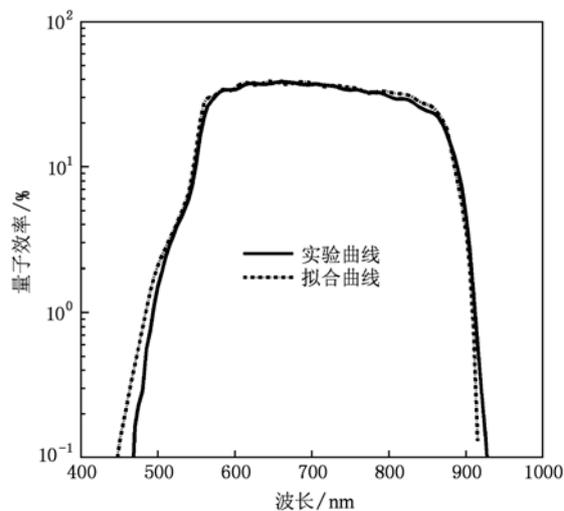


图 6 均匀掺杂样品量子效率实验曲线与拟合曲线

度为 2134 $\mu\text{A}/\text{lm}$, 这相比以往实验样品的灵敏度有了很大的提高.

5. 结 论

本文对均匀掺杂透射式 GaAs 光电阴极的量子效率公式进行了组件光谱反射率和短波截止限的修正, 得到了响应波段范围内均能较好拟合的公式, 同样的修正方法也适用于指数掺杂情况. 对于量子效率峰值高达 43%, 积分灵敏度高达 2330 $\mu\text{A}/\text{lm}$ 的 ITT 公司高性能透射式 GaAs 光电阴极,

采用修正后的公式拟合其量子效率曲线, 得到了该光电阴极的结构参数范围. 另外根据拟合结果仿真分析了透射式 GaAs 光电阴极的结构与量子效率、积分灵敏度间的关系, 计算表明对于均匀掺杂情况, 当 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 层的厚度和 x 值分别取 0.4 μm 和 0.7, GaAs 层厚度在 1.1—1.5 μm 之间时, 光电阴极积分灵敏度可以达到 2350 $\mu\text{A}/\text{lm}$ 以上. 由此指导实验设计的均匀掺杂样品积分灵敏度达到了 2134 $\mu\text{A}/\text{lm}$. 本文研究的结果对高性能透射式 GaAs 光电阴极的结构设计与制备有一定的参考价值.

- [1] Guo L J, Wüstenberg J P, Andreyev O, Michael B, Martin A 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 3200 (in Chinese) [郭立俊、Wüstenberg J P、Andreyev O、Michael B、Martin A 2005 物理学报 **54** 3200]
- [2] Liu Z, Machuca F, Pianetta P, Spicer W E, Pease R F W 2004 *Appl. Phys. Lett.* **85** 1541
- [3] Schneider J E, Sen P, Pickard D S 1998 *J. Vac. Sci. Tech. B* **16** 3192
- [4] Antypas G A, Edgcombe J 1975 *Appl. Phys. Lett.* **26** 371
- [5] Antypas G A, Escher J S, Edgcombe J 1978 *J. Appl. Phys.* **49** 4301
- [6] André J P, Guittard P, Hallais J 1981 *J. Cryst. Growth* **55** 235
- [7] Zhang Y J, Chang B K, Yang Z, Niu J, Zou J J 2009 *Chin. Phys. B* **18** 4541
- [8] Arlynn S, Keith P, Roger S 2002 *New Developments in Photodetection 3rd Beaune Conference* Beaune, France, June 17—21, 2002
- [9] Du X Q, Chang B K 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 8643 (in Chinese) [杜晓晴、常本康 2009 物理学报 **58** 8643]
- [10] Tang J F, Gu P F, Liu X, Li H F 2006 *Modern Optical Thin Film Technology* (Zhejiang: Zhejiang University Press) p20 (in Chinese) [唐晋发、顾培夫、刘旭、李海峰 2006 现代光学薄膜技术(浙江:浙江大学出版社)第 20 页]
- [11] Liu Y Z, Wang Z C, Dong Y Q 1995 *Electron Emission and Photocathode* (Beijing: Beijing University of Science and Technology Press) p327 (in Chinese) [刘元震、王仲春、董亚强 1995 电子发射与光电阴极(北京:北京理工大学出版社)第 327 页]
- [12] Zou J J, Chang B K, Yang Z 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 2992 (in Chinese) [邹继军、常本康、杨智 2007 物理学报 **56** 2992]
- [13] Fang R Z, Liu Y F 1988 *Optoelectronic Devices* (Beijing: National Defence Industrial Press) p159 (in Chinese) [方如章、刘玉凤 1988 光电器件(北京:国防工业出版社)第 159 页]
- [14] Wu J Z, Ye G R 1992 *Optical Radiation Measurement* (Beijing: Mechanic Industry Press) p34 (in Chinese) [吴继宗、叶关荣 1992 光辐射测量(北京:机械工业出版社)第 34 页]
- [15] Liu S C 1991 *Optical Radiation Measurement Technology* (Beijing: National Defence Industrial Press) p78 (in Chinese) [刘世才 1991 光辐射测量技术(北京:国防工业出版社)第 78 页]
- [16] Liu L, Chang B K 2004 *Opt. Eng.* **43** 946
- [17] Aspnes D E, Kelso S M, Logan R A, R Bhat 1986 *J. Appl. Phys.* **60** 754
- [18] Zou J J, 2007 *Ph. D. dissertation* (Nanjing: Nanjing University of Science and Technology) (in Chinese) [邹继军 2007 博士学位论文(南京:南京理工大学)]
- [19] Yang Z, Zou J J, Chang B K 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 4290 (in Chinese) [杨智、邹继军、常本康 2010 物理学报 **59** 4290]

Research on quantum efficient fitting and structure of high performance transmission-mode GaAs photocathode*

Zhao Jing¹⁾ Zhang Yi-Jun¹⁾ Chang Ben-Kang^{1)†} Xiong Ya-Juan¹⁾ Zhang Jun-Ju¹⁾
Shi Feng²⁾ Cheng Hong-Chang²⁾ Cui Dong-Xu³⁾

1) (*Institute of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China*)

2) (*Key Laboratory of Low Light Level Technology of COSTIND, Xi'an 710065, China*)

3) (*Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China*)

(Received 5 November 2010; revised manuscript received 11 January 2011)

Abstract

To explore the structural feature of high performance transmission-mode GaAs photocathode, the optical properties and shortwave limitation for the transmission-mode quantum efficient formula is modified. By using the modified formula, a high quantum efficient ($\approx 43\%$) curve of ITT is well fitted. A series of structural parameters is obtained with in a relative error less than 5%, which indicates that the thickness of the $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ window layer is 0.3—0.5 μm , the Al mole value is 0.7, and the thickness of the GaAs active layer is 1.1—1.4 μm . In addition, an optimized structure for the uniform-doping transmission-mode GaAs photocathode is suggested based on the fitted results. When the thickness of the $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ ($x=0.7$) layer and the GaAs layer are 0.4 μm and 1.1—1.5 μm respectively, the integral sensitivity can exceed 2350 $\mu\text{A}/\text{lm}$.

Keywords: transmission-mode GaAs photocathode, quantum efficient, integral sensitivity, optical properties

PACS: 78.40.Fy, 79.60.Dp, 78.66.Fd

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60678043), the Research and Innovation Plan for Graduate Students of Jiangsu Higher Education Institutions, China (Grant No. CX09B_096Z), and Nanjing University of Science and Technology Researching Funding, China (Grant No. 2010ZYTS032).

† Corresponding author. E-mail: bkchang@mail.njust.edu.cn